

## Nagroda Nobla z fizyki 2009

Tegoroczna nagroda Nobla z fizyki została przyznana za odkrycia głęboko już zakorzenione w naszym codziennym życiu. Inaczej niż w przypadku większości wcześniej nagradzanych odkryć fizycznych, niełatwych do objaśnienia laikom, tegoroczne nagrody przyznano za prace, których wyniki są powszechnie stosowane. Komitet Noblowski postanowił uhonorować połową nagrody **Charlesa Kuen Kao** za **opracowanie światłowodów pozwalających na przesyłanie informacji na duże odległości**, a drugą połową **Willarda Sterlinga Boyle'a** i **George'a Elwooda Smitha** za **opracowanie cyfrowych czujników optycznych**.

Urządzenia te są już tak powszechne, że wiele osób było zaskoczonych decyzją jury. Okazuje się jednak, że osiągnięcia te nie były wcale takie oczywiste w latach 60. i 70., gdy ich dokonywano.

Od dawna doskonale było wiadomo, że dzięki zjawisku całkowitego wewnętrznego odbicia fal elektromagnetycznych na granicy dwóch ośrodków, możliwa jest transmisja światła wewnątrz różnych materiałów przezroczystych (szklanych, ceramicznych, krystalicznych lub w strugach cieczy). Rzecz w tym, że było to możliwe tylko na bardzo krótkich dystansach, niepozwalających na jakiegokolwiek praktyczne zastosowania. Żadnego z takich „przewodów świetlnych” nie można było nazwać światłowodami, bo jeśli dotyczyły czegokolwiek, światło natychmiast „wyciekało” w miejscu styku. W latach 50. nauczono się wytwarzać „przewody świetlne” z przezroczystego plastiku i szkła, a także chronić je przed stratami przez otoczenie specjalnym „płaszczem”. W ten sposób powstały już prawdziwe światłowody, ale pozwalały one na transmisję światła na odległości rzędu zaledwie kilku metrów. To już jednak wystarczyło do ogromnie ważnych zastosowań w rozmaitych wznioskach medycznych (gastroskopy, itp.) i dostarczyło bodźców do rozwoju dalszych badań.

W tych wczesnych latach prac nad światłowodami, szczególnie

ważne były badania prowadzone przez naszego rodaka **Antoniego Emila Karbowiaka**, który po służbie w RAF i udziale w bitwie o Anglię w czasie II wojny światowej, ukończył studia w Wielkiej Brytanii i został kierownikiem grupy pracującej nad tym tematem w laboratorium telekomunikacyjnym w Harlow pod Londynem. To on wprowadził w te zagadnienia swego młodszego kolegę, urodzonego w Szanghaju i wykształconego w Hong-Kongu tegoroczego noblistę – Charlesa K. Kao. Gdy A. Karbowiak wyjechał z Harlow do Australii (objął profesurę na Uniwersytecie Południowej Walii), Kao samodzielnie już rozpoczął badania nad własnościami szkła, z którego robiono włókna szklane. Przełomem było odkrycie identyfikujące główne mechanizmy strat energii świetlnej we włóknach – rozpraszanie i absorpcję, oraz zbadanie ich zależności od długości fali, pozwalającą na znalezienie takich materiałów i długości fali, dla których te straty są minimalne. Kolejnym



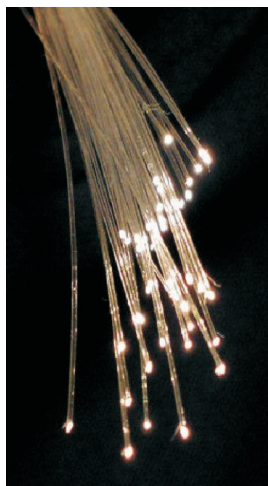
Charles K. Kao



Willard S. Boyle



George E. Smith



sukcesem Kao było stwierdzenie, że straty na „wyciekanie światła” z włókien stają się zaniedbywalne, jeśli średnica włókien jest porównywalna z długością fali światła. W takich warunkach włókno staje się tzw. falowodem, w którym fale elektromagnetyczne propagują się z bardzo małymi stratami.

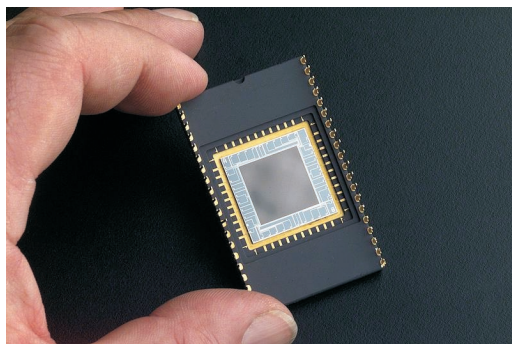
Dzięki badaniom Charlesa K. Kao, możemy dziś przysyłać pojedynczymi włóknami kwarcowymi o średnicach kilku mikrometrów światło o długości fali 1,5  $\mu\text{m}$  (niewidzialne dla ludzkiego oka) na odległości rzędu 100 km!

Druga część tegorocznej nagrody została przyznana W.S. Boyle’owi i George’owi Smithowi za odkrycie, które zrewolucjonizowało technikę rejestracji obrazów optycznych – czujnik typu CCD. Nazwa jest skrótem tajemniczo brzmiącego określenia *Charge-Coupled Device* (urządzenie ze sprzężeniem ładunkowym). Za tą zagadkową nazwą kryje się w istocie elektroniczne oko – macierz (matryca) elementów reagujących na światło i generujących impulsy elektryczne proporcjonalne do natężenia padającego światła. W oku tę rolę pełnią komórki pręcików i słupków tworzące siatkówkę, a wytworzone przez nie bodźce transportowane są do „centralnego procesora”, czyli mózgu. O ile stosunkowo łatwo skonstruowano elektroniczne światłoczułe czujniki – dzięki wczesnym pracom Einsteina znamy zjawisko fotoelektryczne i umiemy je wykorzystać w fotodiodach, o tyle poważne problemy stwarzała konieczność miniaturyzacji i odpowiednio szybkiego przesyłania sygnałów od poszczególnych fotodiod do układu procesora, w którym miały one zostać złożone w obraz.

Zauważmy, że w oku każdy pręcik i czopek przekazuje swe sygnały za pomocą pojedynczych neuronów do mózgu. Stopień miniaturyzacji, jaki osiągnęła natura, jest znakomity. Gdyby podobną rolę miały przejąć tradycyjne połączenia elektryczne za pomocą drutów, rozmiary takiego sztucznego oka byłyby monstrualne! Rozwiązanie tego problemu stało się możliwe dzięki rozwojowi techniki produkcji miniaturowych układów półprzewodnikowych o wielkim stopniu integracji, tzw. *chipów* elektronicznych, które już wcześniej doprowadziły do rewolucji w elektronice i informatyce. W latach 70. możliwe stało się wyprodukowanie chipu z macierzami obejmującymi 100×100 fotoelementów (pikseli). Nadal jednak pozostawał nierozwiązany problem transportu ładunków elektrycznych wygenerowanych światłem w każdym z tych elementów. Połączenie każdego z nich pojedynczym przewodem było wprawdzie możliwe, ale ponieważ liczba tych przewodów rosła kwadratowo ze wzrostem liczby fotoelementów (i już dla macierzy 100×100 wynosiła 10 000), nie było to praktycznym rozwiązaniem.

Pracujący razem w sławnym *Bell Laboratories* w New Jersey W.S. Boyle i G.E. Smith rozwiązyali ten problem. Jak to zrobili?

Zastosowali do sczytywania ładunków zasadę „łańcucha strażackiego” – gaszący pożar strażacy ustawieni w szereg przekazują wiadra z wodą kolejno od jednego do drugiego. W czujniku CCD, ładunki wygenerowane w jednej linii macierzy fotoelementów są przekazywane za pomocą tranzystorów od diody do diody wzdłuż danej linii i odczytywane na brzegu macierzy. Odczytywanie sygnałów poszczególnych diod jest taktowane zegarem układu, co sprawia, że sygnał z całej linii macierzy na jej brzegu ma formę regularnych impulsów elek-



Matryca CCD używana do detekcji obrazów w zakresie promieniowania ultrafioletowego

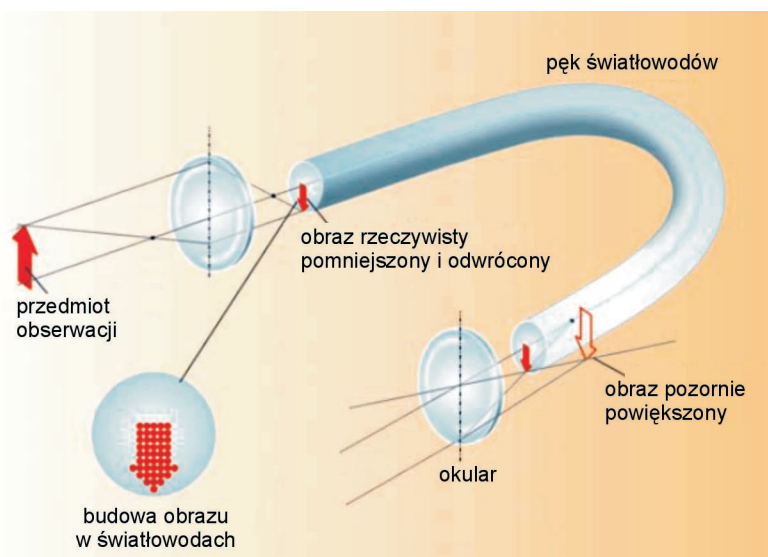
trycznych o różnych amplitudach, pozwalających na jednoznaczne przypisanie konkretnego impulsu konkretnej komórce czujnika. Z  $n^2$  elementów macierzy obejmującej  $n \times n$  pikseli, otrzymujemy więc sygnał od  $n$  linii, który w ten sam sposób można kolejno czytać i przesłać pojedynczym przewodem do dalszej obróbki.

Ten sposób odczytu okazał się być bardzo skuteczny i został szeroko zastosowany. Macierze CCD stały się coraz powszechniejsze, ich jakość systematycznie się poprawiała, a ceny malały. Szybko pojawiły się także macierze pozwalające na rejestrację obrazów kolorowych. W tym celu konieczne było opracowanie czujników reagujących w różny sposób na różne kolory światła (różne długości fali). Najprostszym, do dziś powszechnie stosowanym sposobem jest użycie filtrów transmisyjnych (odpowiednio barwionych materiałów syntetycznych), które w formie mozaiki przykrywają macierz fotodiod. Dla odtworzenia czułości ludzkiego oka na kolory, w mozaice tej  $\frac{1}{2}$  filtrów przepuszcza kolor zielony (G, *green*),  $\frac{1}{4}$  czerwony (R, *red*) i  $\frac{1}{4}$  niebieski (B, *blue*). Tworzone są grupki trzech sąsiadujących fotoelementów RGB, które dają informacje o rozkładzie natężenia różnych widmowych składowych światła na powierzchni macierzy, a w konsekwencji kolorowy obraz cyfrowy.

Czujniki i kamery CCD, jak wiadomo zrewolucjonizowały fotografię i kinematografię. Cyfrowe aparaty i kamery fotograficzne są już montowane nawet do telefonów komórkowych. Poza domowymi potrzebami, zastosowań kamer CCD jest bez liku. Wymieńmy tu przynajmniej dwa: Teleskop Hubble'a, którego znaczenie dla astronomii jest trudne do przecenienia, byłby mało przydatny, gdyby rejestrował obrazy na tradycyjnej kliszy fotograficznej, bez możliwości ich natychmiastowego przesyłania na Ziemię. W medycynie coraz powszechniej stosowane są miniaturowe kamery wprowadzane do organizmu pacjenta, aby śledzić zmiany chorobowe, nadzorować przebieg zabiegów chirurgicznych dokonywanych w trudno dostępnych miejscach, a także – w połączeniu z odpowiednimi programami – rejestrować niewidoczne gołym okiem zmiany chorobowe.

Powszechność i ważność zastosowań wynalazków dokonanych przez tegorocznych Laureatów Nagrody Nobla świadczy o ich doniosłości.

Wojciech Gawlik



Endoskop światłowodowy – przykład zastosowania światłowodów w medycynie